

LE BACTÉRIOPLANCTON DU LÉMAN

Campagne 1999

PAR

Dominique FONTVIEILLE et Sylvie VIBOUD

CARTEL¹, UNIVERSITÉ DE SAVOIE, F - 73376 LE BOURGET DU LAC Cedex

RÉSUMÉ

Les analyses du bactérioplancton effectuées en 1998 et 1999 viennent prolonger, après sept ans d'interruption, les cinq années d'auscultation du bactérioplancton du Léman réalisées de 1986 à 1990.

Deux analyses complémentaires, celle du carbone organique dissous biodégradable et celle des bactéries métaboliquement actives, sont venues s'ajouter aux dénombrements des bactéries et à la mesure de la production bactérienne.

En moyenne annuelle, la fraction du carbone organique dissous susceptible d'être dégradée à court terme (15 j) par les bactéries hétérotrophes est un peu inférieure (21 %) à ce qu'elle était en 1998 (27 %). La fraction des populations bactériennes métaboliquement actives au sens de la méthode basée sur la réduction du CTC est, elle aussi, plus faible en 1999 (2 %) qu'en 1998 (4 %). Les deux résultats peuvent être rapprochés mais il doit être tenu compte du fait que la relation entre les bactéries et les nutriments est modulée par la prédation, processus qui ne fait pas l'objet de mesures dans le cadre actuel de l'auscultation du lac.

La concentration moyenne des bactéries par strate est très inférieure à ce qu'elle était en 1998 et reste un peu supérieure à ce qu'elle était en 1990. Globalement, la production bactérienne diminue également par rapport à 1998 et reste inférieure à celle de 1990. Son importance vis-à-vis de la production primaire phytoplanctonique nette augmente par contre en 1999 pour s'établir à 26.6 % (23 % en 1998) mais reste inférieure à ce qu'elle était en 1990 (28 %).

L'ensemble des résultats semble indiquer que les ressources en nutriments organiques ont été plus faibles en 1999 qu'en 1998 et qu'en conséquence, les bactéries ont contribué dans une moindre mesure à la productivité générale du lac.

Les résultats suggèrent également que le déterminisme des biomasses bactériennes relève plus particulièrement, au printemps, des exsudats phytoplanctoniques et en été, des composés issus des processus de lyse et/ou de prédation subis par les cellules du phytoplancton.

1. INTRODUCTION

Ce rapport est le second marquant la reprise de l'auscultation annuelle du bactérioplancton du lac Léman. Il se situe dans la continuité d'une série de cinq campagnes annuelles qui avaient été réalisées de 1986 à 1990 par P. DUFOUR et ses collaborateurs (DUFOUR et al., 1991).

Deux analyses complémentaires, celle du carbone organique dissous biodégradable (CODB) et celle des bactéries métaboliquement actives (BMA) sont venues s'ajouter aux dénombrements des bactéries et à la mesure de la production bactérienne. Ces deux mesures doivent constituer une aide à l'interprétation du système formé par les nutriments, la biomasse des bactéries et leur activité métabolique.

Les caractéristiques des communautés bactériennes seront rapprochées des valeurs de la biomasse du phytoplancton et de la production primaire eucaryotique en raison des liens qui s'établissent classiquement entre algues planctoniques et bactéries hétérotrophes.

2. MÉTHODES

Les prélèvements sont effectués simultanément à ceux destinés aux analyses chimiques (18 profondeurs, 18 campagnes en 1999). Quatre mélanges sont effectués en tenant compte de l'importance relative des différentes strates dans le volume total du grand lac : 0 à 5 m (épilimnion), 5 à 20 m (métalimnion supérieur), 20 à 50 m (métalimnion inférieur) et 50 à 305 m (hypolimnion).

Le dénombrement des bactéries est effectué sur un sous-échantillon immédiatement fixé au formol (concentration finale 5 %) et ultérieurement filtré puis coloré par un fluorochrome, le DAPI (méthode de PORTER et FEIG, 1980). Les comptages ne prennent pas en compte les classes des volumes bactériens. La biomasse globale du bactérioplancton n'a donc pas été calculée.

La production bactérienne est mesurée par la méthode de l'incorporation de la thymidine tritiée dans les acides nucléiques des bactéries ((FUHRMAN et AZAM, 1982). Le facteur de conversion utilisé est de $3,86 \cdot 10^{18}$ cellules par mole de thymidine incorporée. Le choix de cette valeur a essentiellement été dicté par le souci de placer les résultats dans la continuité de ceux acquis par DUFOUR et al. de 1986 à 1990.

La concentration en bactéries métaboliquement actives (BMA) est calculée à partir de dénombrements au microscope en épifluorescence après incubation des cellules en présence de 5'-cyano 2,3 di-4-tolyl-tétrazolium chloride ou CTC (méthode de RODRIGUEZ et al., 1992). Le CTC est un accepteur d'électrons qui entre en compétition avec les accepteurs naturels de la voie finale commune. Le CTC réduit (CTC-formazan) émet une fluorescence rouge sous l'excitation de la source UV d'un microscope. Le rapport des concentrations des bactéries "CTC-actives" à celui des bactéries dénombrées après coloration au DAPI est une indication du pourcentage de bactéries actives.

Deux mesures complémentaires sont réalisées sur le plan des nutriments organiques en tant que substrats potentiels pour le métabolisme bactérien, celle du carbone organique dissous (COD, oxydation par l'association persulfate de sodium-UV et détection infra rouge), celle du carbone organique dissous biodégradable (CODB, méthode de SERVAIS et al., 1987) et par différence, celle du carbone organique dissous réfractaire (CODR).

Pour aider à l'interprétation, les campagnes ont été groupées en "saisons" sur la base de la stratification thermique, de la situation de la phase des eaux claires et de l'abondance du phytoplancton (p = printemps (campagnes du 26.04.99 au 10.05.99), ec = eaux claires (campagnes du 25.05.99 et du 16.06.99), e = été (campagnes du 24.06.99 au 21.09.99), a = automne (campagnes du 5.10.99 au 24.11.99), h = hiver (campagnes du 11.01.99 au 24.03.99).

3. RÉSULTATS

3.1 Distribution verticale des bactéries

La figure 1 montre que les plus grandes concentrations de bactéries le long des profils de stratification se situent, selon la date, dans l'épilimnion ou dans la partie haute du métalimnion. C'est durant la période d'avril et mai que la stratification est la plus marquée (avec des valeurs maximales de l'ordre de $5 \text{ à } 6 \cdot 10^6$ cellules/ml). Durant la phase des eaux claires, à laquelle semble correspondre la campagne du 25 mai, la stratification des bactéries est peu marquée. Elle s'accroît de nouveau en juin, simultanément à la reprise du développement du phytoplancton (LEBOULANGER, 2000).

Un second pic annuel majeur de la concentration des bactéries se situe de mi-juillet à début août et dans la partie haute du métalimnion, probablement en liaison avec la répartition des cellules phytoplanctoniques et avec les phénomènes de photoinhibition qui affectent les strates supérieures.

3.2 Evolution saisonnière des nutriments organiques

L'amplitude des variations saisonnières du carbone organique dissous (COD) est de l'ordre de 3 ppm (figure 2A). Au cours du cycle annuel, chacune des strates est affectée au moins par un pic marqué (> 2.5 ppm). Ceux de la campagne du 24 juin et des campagnes du mois d'août ont un caractère plus global en affectant toute la colonne d'eau. La plupart de ces pics (campagne du 2 août en particulier) trouvent une correspondance dans plusieurs descripteurs bactériens (concentration en bactéries, production) et dans les variations de la biomasse phytoplanctonique (LEBOULANGER, 2000). La figure 3A montre que la variabilité de la concentration en COD est plus grande dans les strates supérieures (de 0 à 50 m, CV moyen de l'ordre de 30 %) que dans l'hypolimnion (CV moyen de l'ordre de 20 %) conformément avec la distribution verticale des sources de production et de consommation de ce type de nutriments. La variabilité est la plus grande durant l'hiver et l'été dans la strate 0-5 m et au printemps dans les strates 5-20 m et 20-50 m.

Les valeurs relatives du carbone organique dissous biodégradable (CODB) sont globalement plus variables que celles du COD (CV moyen de l'ordre de 90 % et figure 3B), notamment en fonction des saisons. Toutes les strates sont également concernées par cette dispersion des valeurs. L'ordre de grandeur de ce descripteur se situe entre 20 et 30 % de la valeur du COD, avec l'établissement, en moyennes annuelles, d'un gradient décroissant depuis l'épilimnion vers l'hypolimnion (tableau 1). C'est en été que s'établissent les plus forts pourcentages de CODB (jusqu'à 78 % du COD) bien que de fortes valeurs apparaissent également à certaines profondeurs en hiver et au printemps (figure 2B)

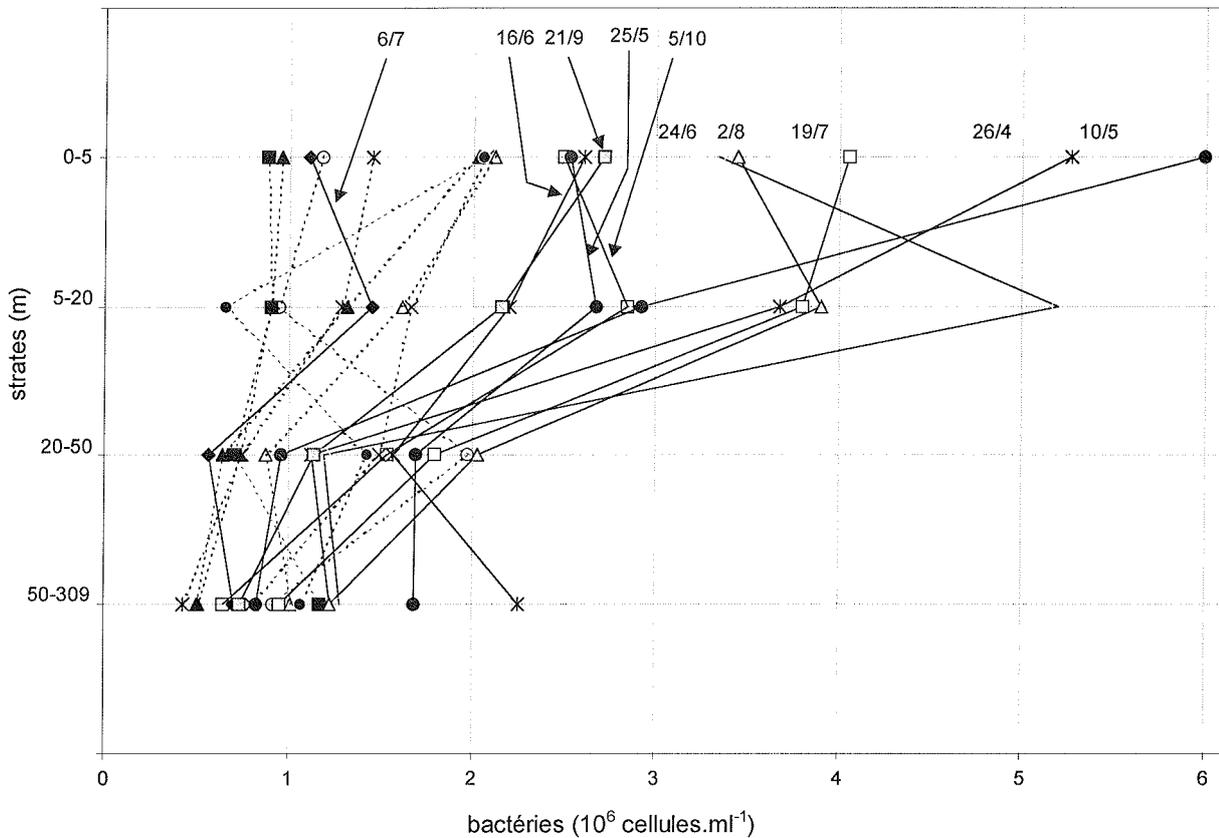


Figure 1 : Evolution saisonnière de la stratification de la concentration des bactéries (dénombrement après coloration au DAPI) au point SHL2 durant l'année 1999. Seules sont indiquées les dates pour lesquelles l'écart des concentrations le long du profil est supérieur à 2.10^6 bactéries/ml

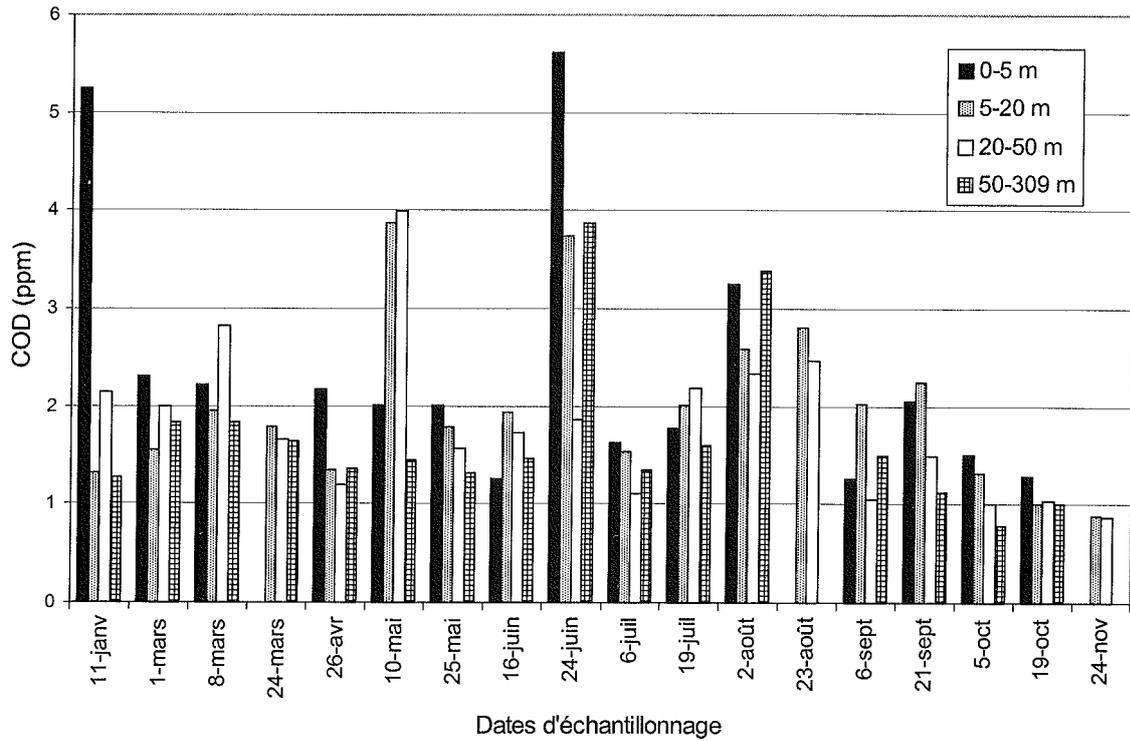
3.3 Evolution saisonnière des bactéries

Cas de l'ensemble des communautés bactériennes

Les variations saisonnières de la concentration des bactéries (figure 4A) sont très marquées avec des pics importants au printemps (26.04, 10.05) et en été (24.06, 19.07, 02.08). Un pic moins important se produit en automne (21.09, 05.10). Lors de ces épisodes la concentration atteint des valeurs entre 4 à 6 fois plus fortes que celles du niveau de base relevé lors des autres saisons (environ 10^6 cellules par ml). La figure 5A montre que les valeurs sont plus stables dans les strates profondes que dans les strates de surface. Dans ces dernières, c'est en été, et dans une moindre mesure en automne, que la variabilité est la plus grande. En moyenne annuelle, un gradient décroissant s'établit entre les plus fortes concentrations de l'épilimnion et les faibles concentrations de l'hypolimnion (tableau 1).

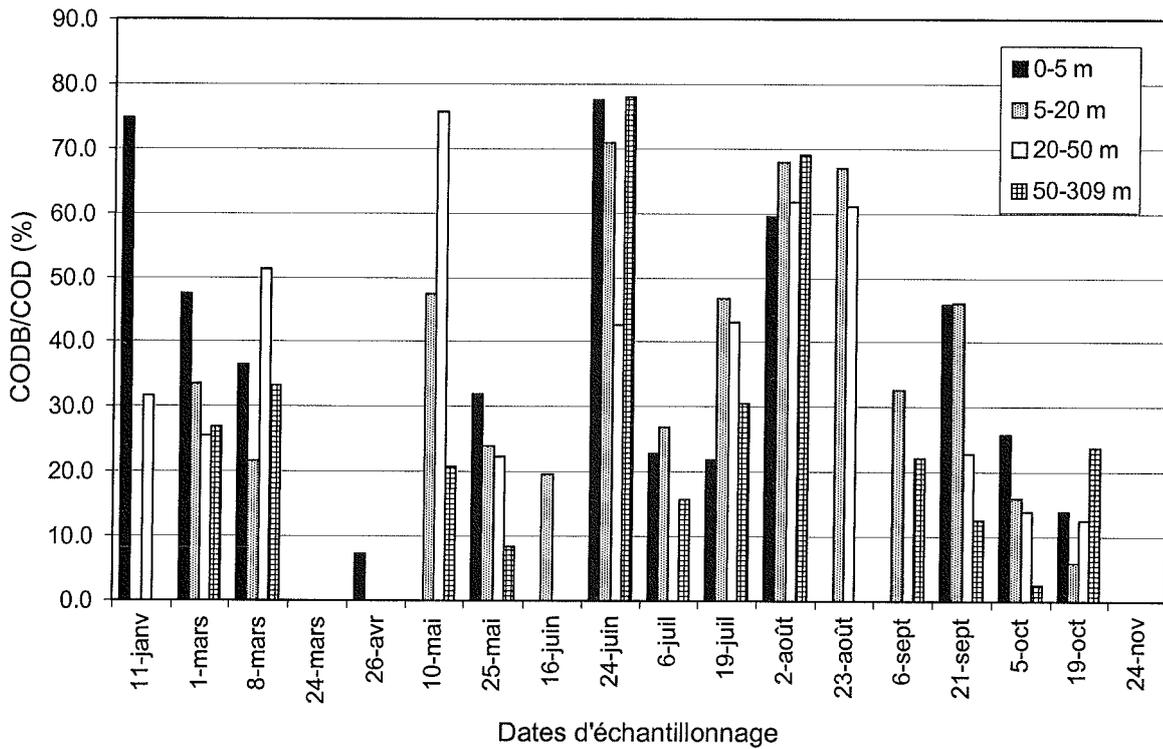
Si l'on fait abstraction de la valeur exceptionnelle du 2 août, la moyenne annuelle de la production bactérienne est de 60 ngC/l.h , la médiane s'établissant autour de 12.5 ngC/l.h (figure 4B). Les fortes valeurs sont observées au printemps et en été. L'amplitude des variations dans ces périodes, pour la strate de surface, par exemple, est de l'ordre de 5 à 9 fois. La figure 5B montre que leur variabilité est moins forte dans les strates profondes (20 à 309 m) que dans les strates de surface où les plus grandes valeurs de l'écart type des moyennes sont observées au printemps et en été.

Carbone Organique Dissous



A

Pourcentage de carbone organique dissous biodégradable



B

Figure 2 : Variations saisonnières et stratification de la concentration du carbone organique dissous (COD - A) et de l'importance relative du carbone organique dissous biodégradable (CODB - B) au point SHL 2 en 1999. L'absence d'histogramme à certaines strates et certaines dates indique que la valeur est manquante (et non égale à zéro)

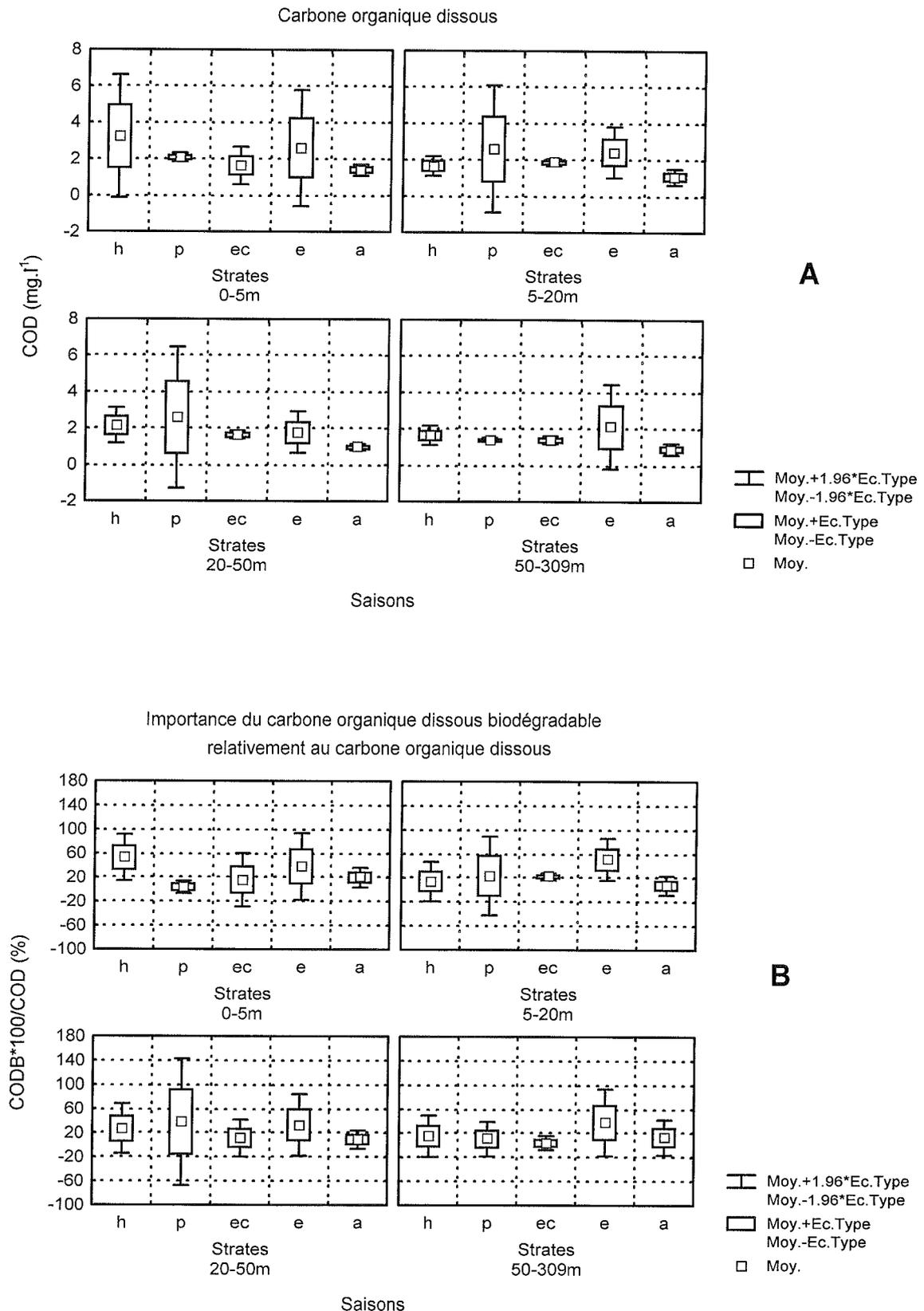


Figure 3 : Valeurs moyennes et variabilité du carbone organique dissous (COD - **A**) et de l'importance relative du carbone organique dissous biodégradable (CODB - **B**) par strate et par saison (campagne 1999). p = printemps (campagnes du 26.04 au 10.05), ec = eaux claires (campagnes du 25.05 et du 16.06), e = été (campagnes du 24.06 au 21.09), a = automne (campagnes du 5.10 au 24.11), h = hiver (campagnes du 11.01 au 24.03)

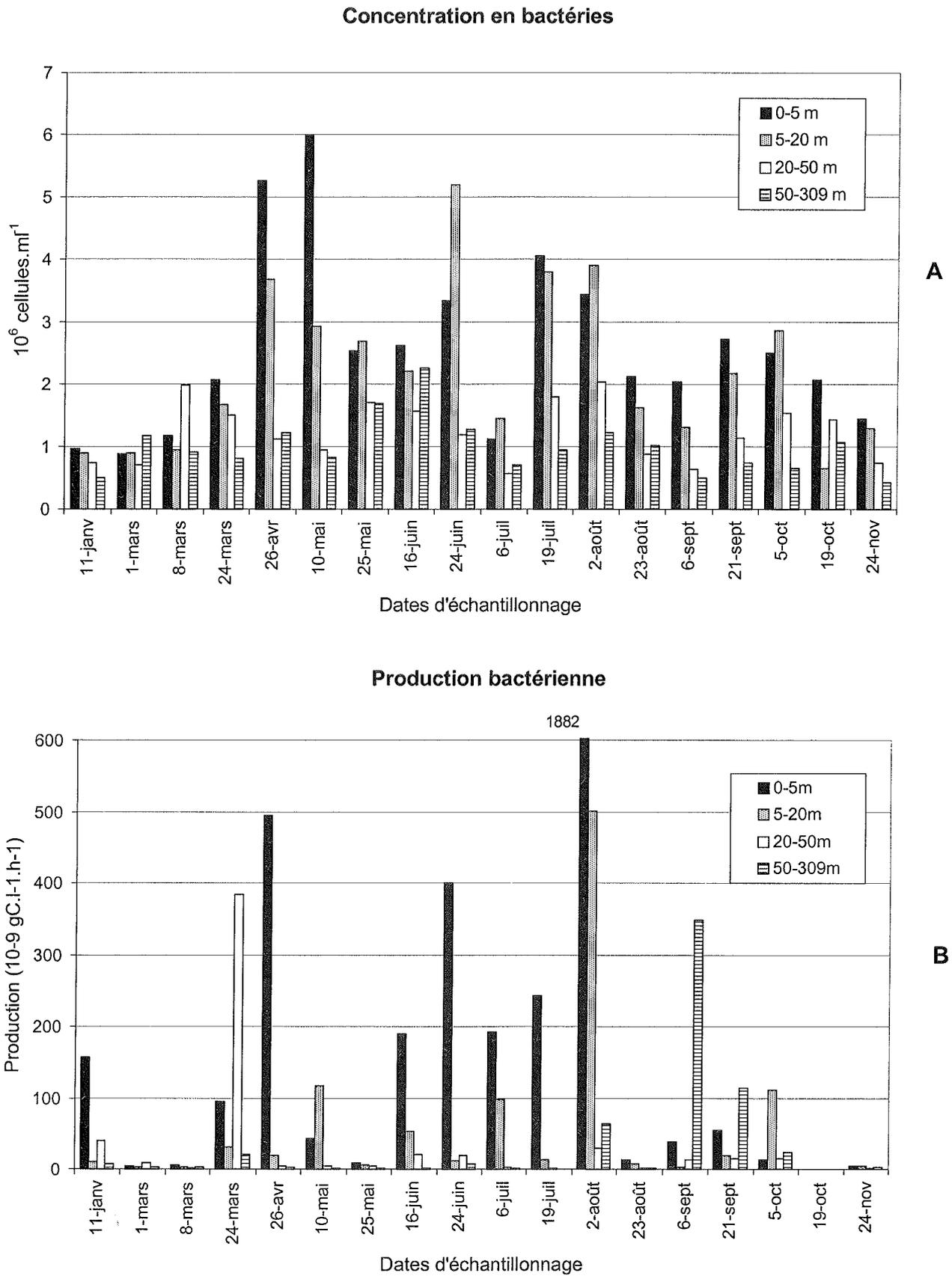


Figure 4 : Variations saisonnières et stratification de la concentration en bactéries (coloration au DAPI - A) et de la production bactérienne (B) au point SHL 2 en 1999

Cas des bactéries métaboliquement actives

La concentration des bactéries métaboliquement actives (BMA) subit de fortes variations saisonnières (figure 6A). Les valeurs décroissent durant la période hivernale jusqu'à la campagne du 8 mars. Elles augmentent ensuite durant le printemps et s'effondrent au moment de la phase des eaux claires (25.05). Elles s'accroissent à nouveau à partir du 23 août pour culminer lors de la campagne du 21 septembre. Les plus fortes valeurs enregistrées en hiver et en été sont près de 90 à 800 fois plus importantes que les plus petites valeurs enregistrées au cours de l'ensemble de l'année. La figure 7A montre qu'il y a peu de différence entre les strates du point de vue de la variabilité de la concentration des BMA sauf en été, période pour laquelle de grandes variations des valeurs sont observées dans les strates de surface (0-20 m).

Le schéma des variations saisonnières de la concentration des BMA se répète quasi à l'identique lorsque leur concentration est exprimée en pourcentage de la concentration de l'ensemble des bactéries (dénombrées après coloration au DAPI). L'amplitude des variations est cependant plus accentuée. Les valeurs les plus fortes se situent entre 22 et 32 % et les plus faibles sont de l'ordre de 0.2 %. L'amplitude des variations à l'échelle annuelle est de l'ordre de 100 fois. La moyenne est de 3.2 % et la médiane de 1.2 % seulement.

3.4 Valeurs intégrées des descripteurs sur la hauteur de la colonne d'eau

L'examen des valeurs intégrées des descripteurs (tableau 2) ne fait que confirmer les résultats de l'analyse détaillée précédente. La figure 8A montre une assez bonne corrélation entre le carbone organique dissous (COD) et le carbone organique dissous biodégradable (CODB) ce qui suggère une origine plutôt autochtone du COD. La relation du CODB avec la production primaire n'est cependant pas très nette, les variations de la concentration en CODB pouvant, selon les cas, accompagner celles de la production phytoplanctonique (figure 8B, 28 juin) ou les suivre (campagnes du 10 mai ou du 2 août) avec un décalage plus ou moins grand en liaison avec la lyse d'une partie des cellules.

Les valeurs intégrées des descripteurs permettent en outre de faire plus aisément la comparaison entre l'activité du bactérioplancton et celle du phytoplancton. Le tableau 2 montre ainsi qu'en moyenne, le pourcentage de bactéries métaboliquement actives s'établit à 2.5 % environ de la concentration totale de bactéries, que la proportion de CODB dans le COD est de 32% et que la production bactérienne représente près de 26.6 % de la production primaire phytoplanctonique.

TABLEAU 1 - Moyennes annuelles par strate et écarts types des descripteurs des communautés bactériennes et de leurs nutriments organiques

Strates	Bactéries totales		Bactéries actives		% bact.	PRODBACT	
	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Moyennes	Ecart-type
0-5 m	2.57E+06	1.42E+06	9.01E+04	2.01E+05	3.82	225.7	450.79
5-20 m	2.23E+06	1.28E+06	6.16E+04	1.38E+05	3.45	59.5	120.22
20-50 m	1.23E+06	0.47E+06	2.47E+04	0.30E+05	2.60	33.2	90.80
50-309 m	0.99E+06	0.44E+06	2.46E+04	0.31E+05	3.15	35.6	85.84

Strates	COD (ppm)		CODB (ppm)		CODB (%)	
	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type
0-5 m	2.37	1.34	1.01	1.37	31.0	25.7
5-20 m	1.98	0.83	0.73	0.79	29.1	24.1
20-50 m	1.81	0.79	0.63	0.80	25.7	24.9
50-309 m	1.67	0.82	0.52	0.87	21.4	23.3

TABLEAU 2 - Valeurs des descripteurs intégrés sur la totalité de la colonne d'eau (campagne 1999)

Dates	Bact. tot. (cell./m ²)	Bact. activ. (cell./m ²)	Bact. activ. (%)	Prod. bact. (mgC/m ² .j)	COD (mg/m ²)	CODB (mg/m ²)	CODR (mg/m ²)	CODB/COD (%)	Prod. phyto. (mgC/m ² .j)	Prod. bact/ Prod. phyto (%)
11.01.99	1.72E+14	3.43E+13	20.0	92.5	4.4E+05	4.0E+04	4.4E+05	9.1	184	50.3
01.03.99	3.42E+14	5.07E+12	1.5	22.9	5.7E+05	1.6E+05	4.1E+05	27.3	282	8.1
08.03.99	3.16E+14	5.76E+12	1.8	24.7	6.0E+05	2.1E+05	3.9E+05	35.3	336	7.3
24.03.99	2.88E+14	9.03E+12	3.1	424.4	5.0E+05	1.0E+02	5.1E+05	0.0	2036	20.8
26.04.99	4.32E+14	1.78E+13	4.1	85.4	4.2E+05	8.0E+02	4.2E+05	0.2	2'903	2.9
10.05.99	3.16E+14	1.94E+13	6.1	63.7	5.6E+05	2.0E+05	3.7E+05	34.8	2'616	2.4
25.05.99	5.41E+14	6.15E+11	0.1	17.2	4.2E+05	4.9E+04	3.8E+05	11.5	889	1.9
16.06.99	6.77E+14	3.78E+12	0.6	69.3	4.7E+05	5.7E+03	4.6E+05	1.2	1'345	5.2
24.06.99	4.62E+14	1.62E+12	0.4	110.8	1.1E+06	8.7E+05	2.7E+05	75.9	1'926	5.8
06.07.99	2.26E+14	1.79E+12	0.8	70.1	4.1E+05	6.2E+04	3.5E+05	15.2	1'515	4.6
19.07.99	3.77E+14	4.19E+12	1.1	36.4	5.2E+05	1.7E+05	3.5E+05	33.0	1'921	1.9
02.08.99	4.53E+14	2.92E+12	0.6	822.3	1.0E+06	6.9E+05	3.2E+05	68.3	1'193	68.9
23.08.99	3.22E+14	2.26E+13	7.0	18.4	1.2E+05	7.4E+04	3.3E+05	63.2	1'027	1.8
06.09.99	1.80E+14	1.35E+12	0.8	2'178.8	4.5E+05	9.5E+04	3.6E+05	21.0	311	700.6
21.09.99	2.71E+14	1.46E+13	5.4	737.3	3.8E+05	6.7E+04	3.1E+05	17.6	1'261	58.5
05.10.99	2.69E+14	4.40E+12	1.6	197.9	2.6E+05	1.4E+04	2.5E+05	5.6	322	61.5
19.10.99	3.40E+14	2.72E+12	0.8	400.0	3.1E+05	6.8E+04	2.5E+05	21.6	82	487.8
24.11.99	1.59E+14	6.06E+11	0.4	25.1	3.9E+04	2.0E+02	2.7E+05	0.5	118	21.3
Moyennes	3.41E+14	8.48E+12	2.5	299.8	4.8E+05	1.5E+05	3.5E+05	32.0	1'126	26.6

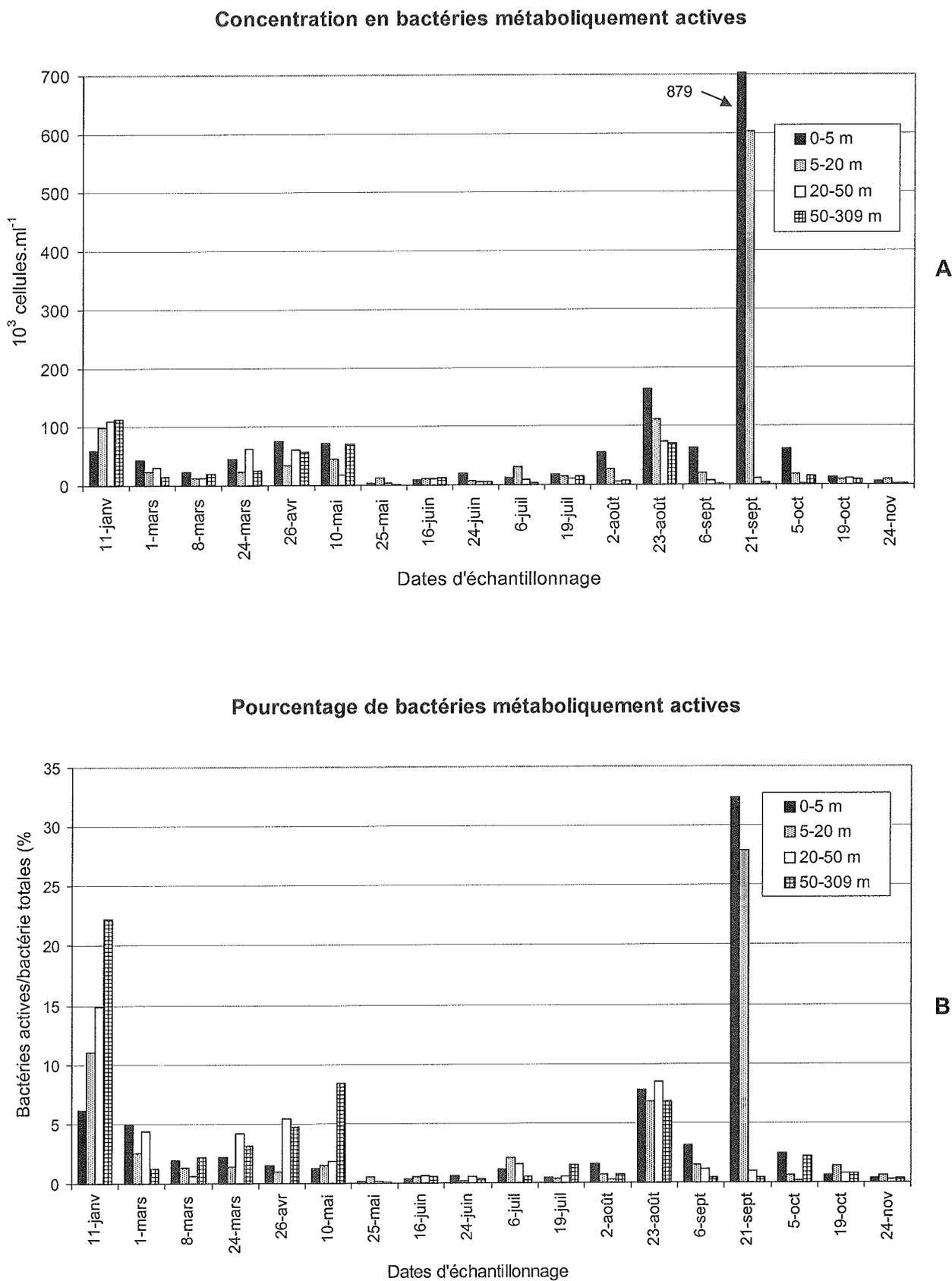


Figure 6 : Variations saisonnières et stratification de la concentration des bactéries métaboliquement actives (A) et de leur importance relative vis-à-vis de la concentration de l'ensemble des bactéries (rapport bactéries CTC-actives/bactéries colorées au DAPI - B) au point SHL 2 (campagne 1999)

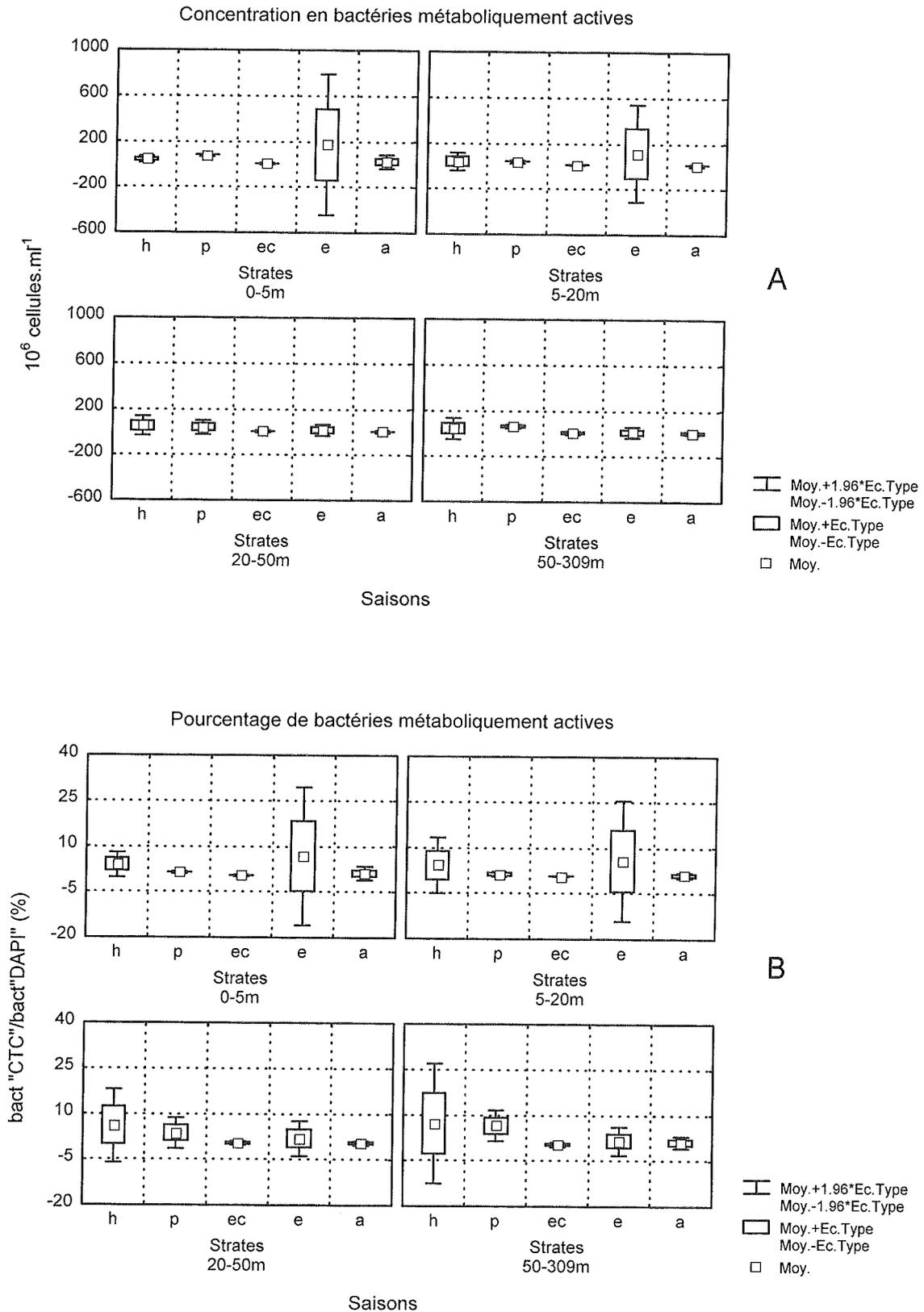


Figure 7 : Valeurs moyennes et variabilité par strate et par saison de la concentration des bactéries métaboliquement actives (marquées au CTC-formazan - **A**) et de leur importance relative vis-à-vis de l'ensemble des bactéries (dénombrées après coloration au DAPI - **B**) campagne 1999. p = printemps (campagnes du 26.04 au 10.05), ec = eaux claires (campagnes du 25.05 et du 16.06), e = été (campagnes du 24.06 au 21.09), a = automne (campagnes du 5.10 au 24.11), h = hiver (campagnes du 11.01 au 24.03)

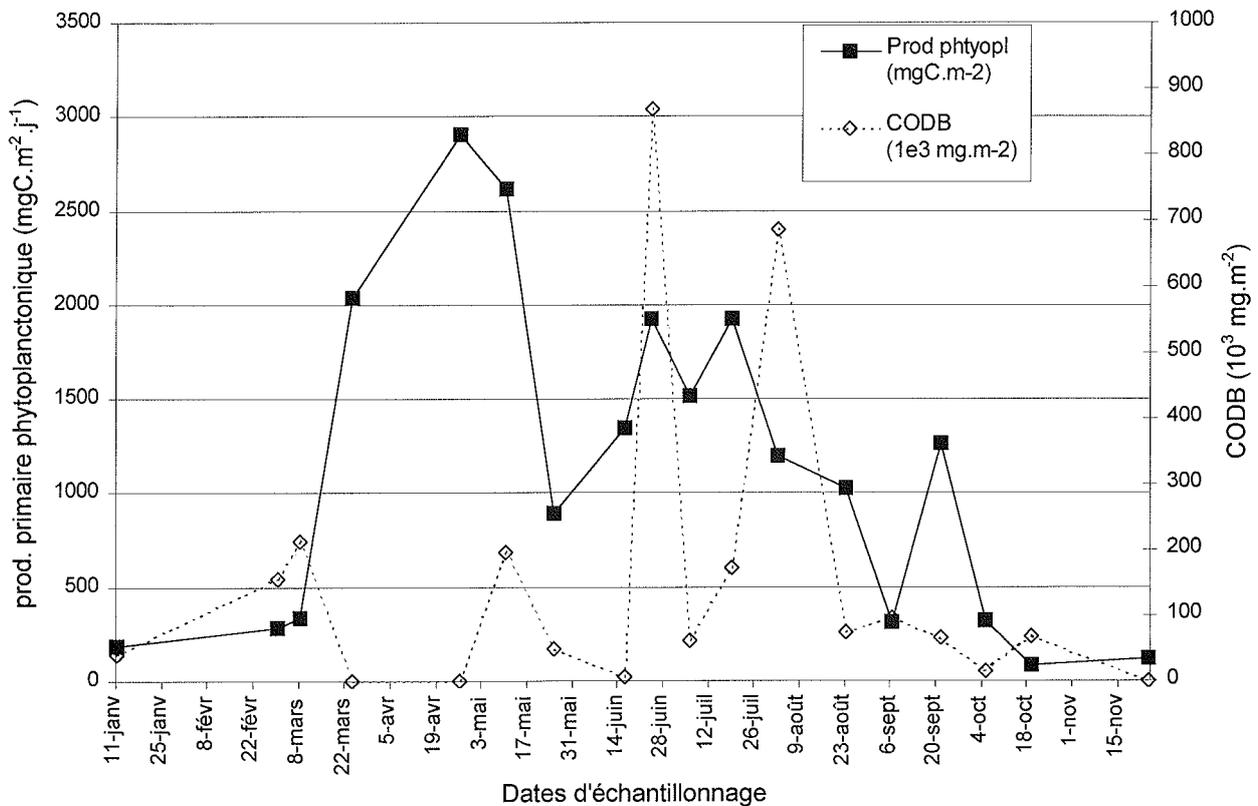
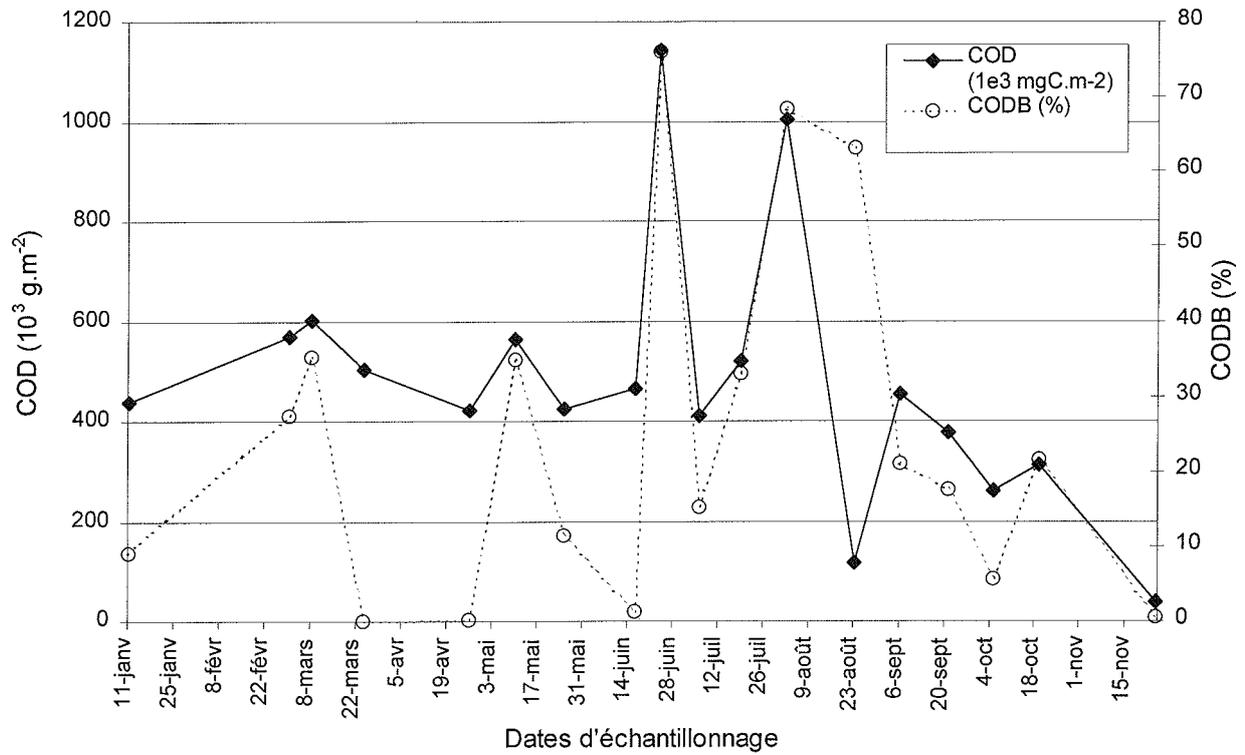


Figure 8 : **A** - Comparaison des évolutions annuelles du COD et du pourcentage de carbone organique dissous biodégradable (CODB) durant l'année 1999
B - Comparaison des évolutions annuelles de la production primaire phytoplanctonique et de la concentration en carbone organique dissous biodégradable (CODB) campagne 1999

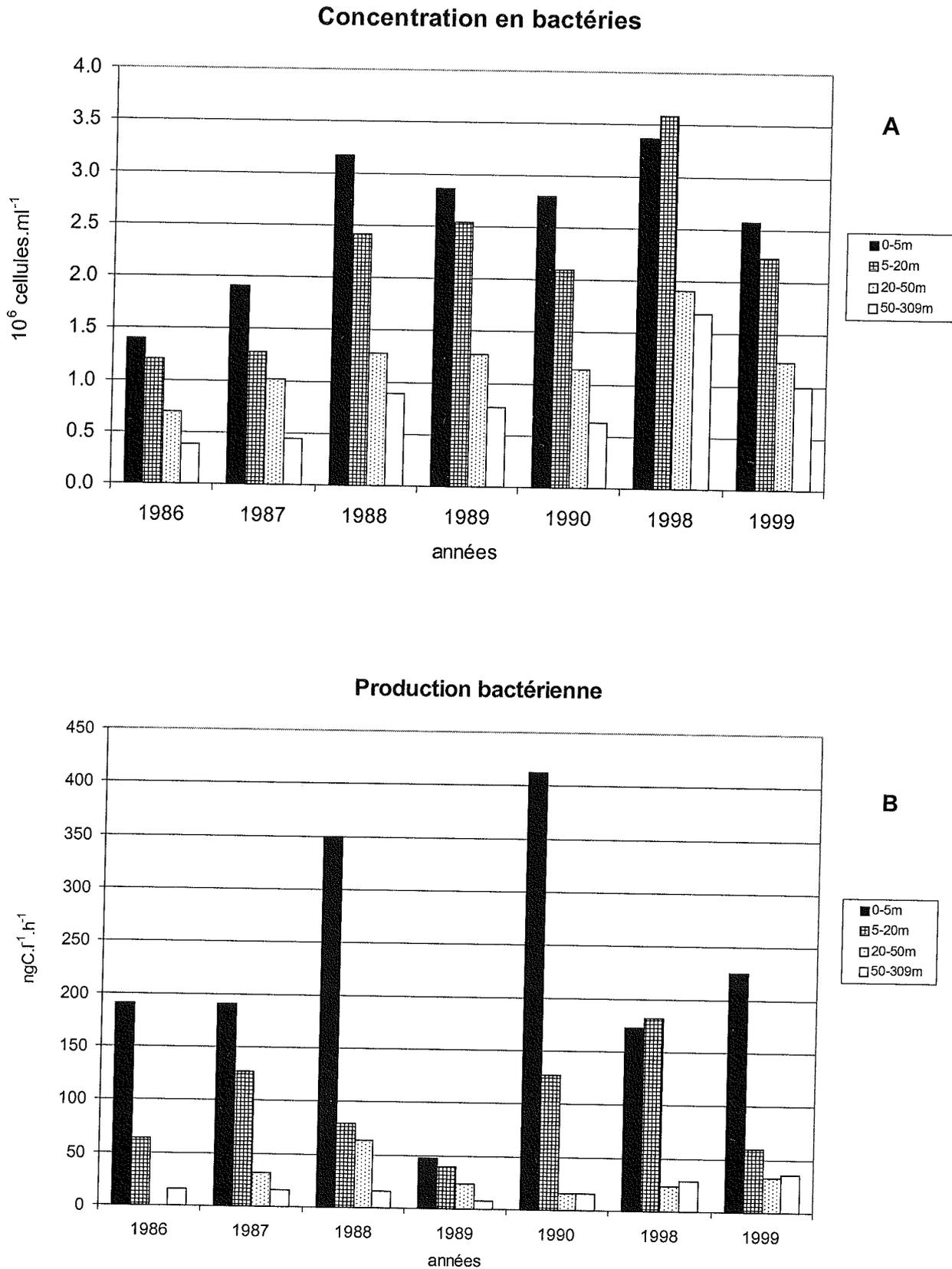


Figure 9 : Evolution des concentrations (A) et de la production bactérienne (B) par strate de 1986 à 1999

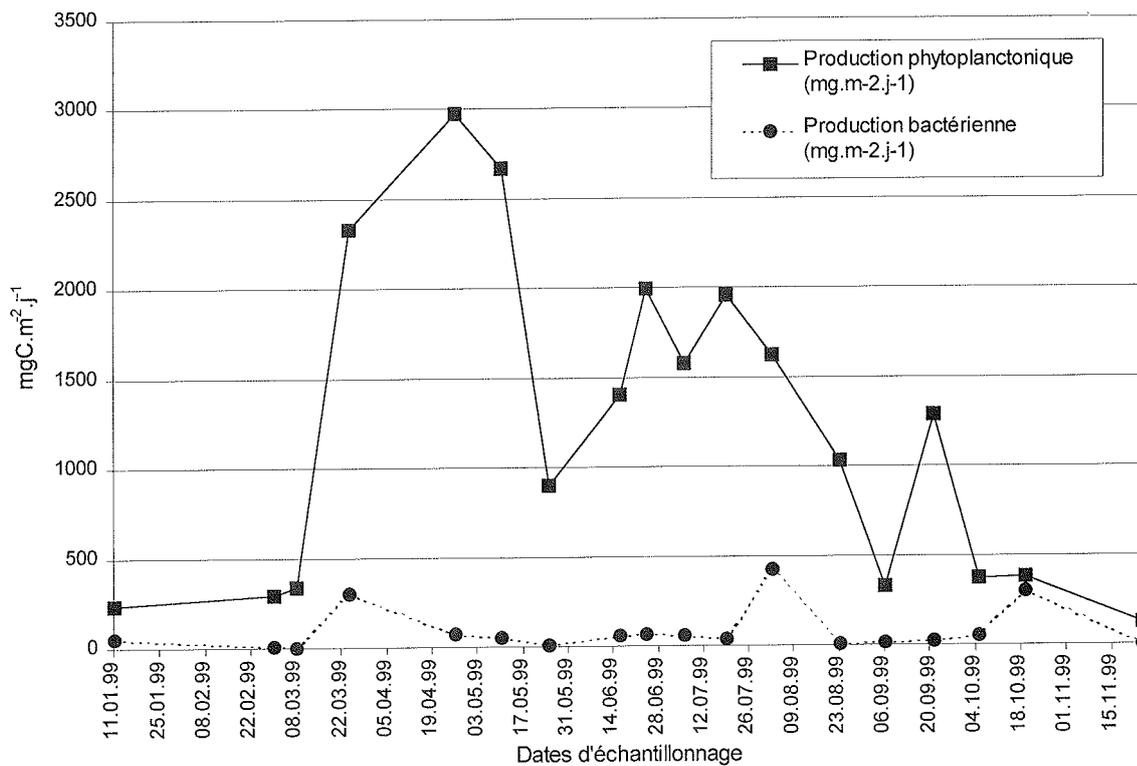
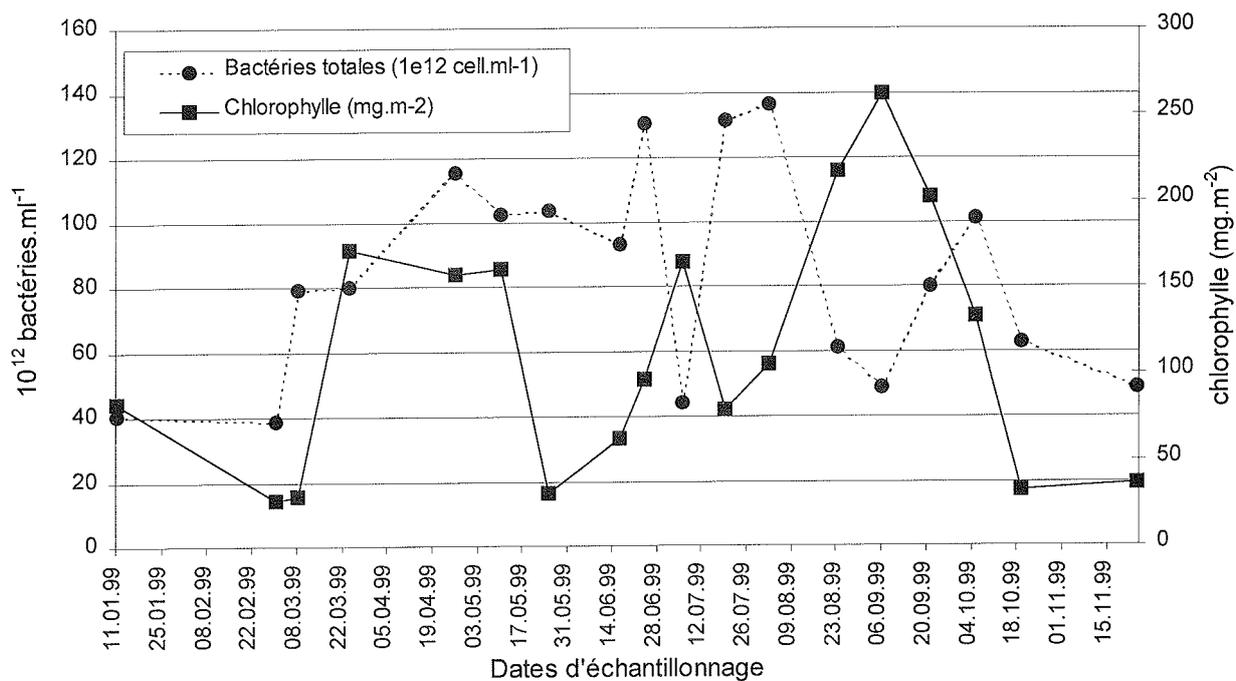


Figure 10 : Comparaison de l'évolution saisonnière du bactérioplancton et du phytoplancton en terme de biomasse (A) et d'activité (B) campagne 1999

4. CONCLUSIONS

En moyenne annuelle, la fraction biodégradable du COD est un peu plus faible en 1999 qu'en 1998 (21 % de CODB, médiane = 22.6 %, contre 27 % en 1998) alors que l'ordre de grandeur du carbone organique dissous lui-même et de ses variations saisonnières est resté identique. Cette proportion varie cependant dans une large mesure selon les saisons, entre 0.01 et 78 %. Les valeurs les plus élevées se situent dans l'épilimnion et dans la partie supérieure du métalimnion bien que ces strates soient aussi celles où le CODB est le plus consommé. Les mécanismes de production de carbone dissous seraient donc, la plupart du temps, supérieurs aux mécanismes de consommation. Le contraste entre les strates de surface et celles du fond du lac est cependant moins bien marqué qu'en 1998.

L'analyse du CODB dans le lac Léman durant les deux dernières années montre que son importance vis-à-vis de la concentration en COD est du même ordre de grandeur que celle mesurée dans le lac d'Annecy considéré comme oligo-mésotrophe. C'est donc en terme de concentration et par l'amplitude de ses variations que ce descripteur pourrait rendre compte du niveau trophique du Léman. L'observation de son évolution au cours des prochaines années devrait permettre d'affiner cette appréciation.

Les campagnes 1999 sont caractérisées par un gradient vertical régulier (sans pic intermédiaire) des valeurs moyennes annuelles des descripteurs du bactérioplancton. Tous les descripteurs convergent pour indiquer que le travail de décomposition de la matière organique se fait essentiellement dans l'épilimnion. Les résultats montrent également une reprise de l'activité bactérienne dans l'hypolimnion avec une augmentation du pourcentage de bactéries actives et de la production bactérienne.

Du point de vue des bactéries elles-mêmes, les analyses montrent que seul un très petit pourcentage des cellules présentes est métaboliquement actif (de l'ordre de 2 %). En 1999, ce pourcentage a été plus élevé en hiver et en été et sans correspondance claire avec les variations de la production bactérienne. Cette discordance avait déjà été observée l'an dernier et trouve probablement une partie de son explication dans la régulation des biomasses bactériennes par les prédateurs (protozoaires flagellés et ciliés, cladocères). La valeur moyenne de ce pourcentage est également trois fois plus faible dans le Léman que dans les lacs voisins (lac du Bourget, lac d'Annecy, GAYTE et al., 1998; GERDEAUX et al., 1999). Ce résultat peut être expliqué par une faible productivité bactérienne associée ou non à une forte prédation touchant particulièrement les bactéries actives. La valeur de la production est certainement en cause comme nous l'indiquons plus loin mais l'apport d'une troisième campagne d'analyse paraît nécessaire compte tenu des grandes variations saisonnières de ce descripteur.

La concentration moyenne des bactéries par strate est nettement inférieure à celle de 1998 (figure 9A). Elle reste très légèrement supérieure à ce qu'elle était en 1990 sauf dans l'épilimnion où les valeurs sont, au contraire, inférieures à celles de cette année de référence. En 1998, l'écart vis-à-vis des valeurs de 1990 était déjà moins net pour l'épilimnion que pour les autres strates. De ce point de vue, la concentration bactérienne enregistrée dans l'épilimnion en 1999 semble se situer dans le cadre d'une évolution à la baisse constatée depuis 1988.

La moyenne annuelle de la production bactérienne de chaque strate diminue également par rapport à 1998 sauf dans l'épilimnion. Toutes les valeurs restent, par ailleurs, nettement inférieures à ce qu'elles étaient en 1990 (figure 9B) sauf celles de la strate 20-50m. Pour l'ensemble de la colonne d'eau, la production bactérienne moyenne représentait en 1990, 28 % de la production phytoplanctonique nette. En 1999, elle s'est établie à 300 mgC/m.j soit 26.6 % de la production phytoplanctonique alors que cette dernière a été globalement plus faible en 1999 (210 gC/m.an contre 258 gC/m.an en 1990, LEBOULANGER, 2000). La production bactérienne au point central du lac Léman est environ 2 fois plus faible que celle du lac du Bourget en 1996, conformément au niveau méso-eutrophe que l'on attribue à ce lac (GAYTE et al., 1998). Elle est également environ 5 fois plus faible que celle du lac d'Annecy (campagne 1998, GERDEAUX et al., 1999) dont les performances, de ce point de vue, semblent être liées à une grande efficacité des transferts de carbone le long des chaînes trophiques.

Le rapprochement des caractéristiques des populations bactériennes avec celles du phytoplancton dans la limite de la strate 0-50m (REVAULIER et al., 2000; LEBOULANGER, 2000) montre qu'il s'établit entre ces organismes une corrélation plutôt négative en terme de biomasse et une corrélation positive épisodique, en terme de production (figure 10). Tous les pics de production bactérienne sont associés à des pics de production primaire mais l'inverse n'est pas vrai. La biomasse bactérienne s'accroît au printemps en parallèle avec celle du phytoplancton alors qu'en été, les variations des deux populations sont en opposition (figure 10A). Ces résultats suggèrent que le déterminisme des biomasses bactériennes relève plus particulièrement, au printemps, des exsudats phytoplanctoniques et en été, des composés issus des processus de lyse et/ou de prédation subit par les cellules du phytoplancton.

BIBLIOGRAPHIE

- DUFOUR, P. et COLON, M. (1991) : Le bactérioplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1990, 83-89.
- FUHRMAN, J. A. et AZAM, F. (1982) : Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters : evaluation and field results. Mar. Biol., 66, 109-120.
- GAYTE, X., VINCON-LEITE, B., FONTVIEILLE, D., TASSIN, B., BLANC, P., PELLETIER, J. et BALVAY, G., (1998) : Evolution des apports de nutriments et de l'état trophique du lac du Bourget. Rapport au District Urbain de la Cluse de Chambéry (DUCC) et à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 310 pp.
- GERDEAUX, D., VERNEAUX, V., VIBOUD, S., FONTVIEILLE, D., ANGELI, N., ROSSO-DARMET, A. et LAFONT, M. (1999) : Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy. Rapport de fin de contrat, IXème Contrat Plan Etat-Région, Région Rhône-Alpes, 111 p.
- LEBOULANGER, C., (2000) : Evolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.
- PORTER, K. G. et FEIG, Y. S. (1980) : Use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. Limnol. Oceanogr., 25, 943-948.
- REVACLIÉ, R. et DRUART, J.-C. (2000) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.
- RODRIGUEZ, G. G., PHIPPS, D., ISHIGURO, K. R. et RIDGWAY, H. F. (1992) : Use of a fluorescent redox probe for direct visualization of actively respiring bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 58(6), 1801-1808.
- SERVAIS, P., BILLEN, G. et HASCOET, M. C. (1987) : Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. Wat. Res., 21(4), 445-450.